

# Um estudo sobre a nova LMCN 2019-07a, na Grande Nuvem de Magalhães

*Tasso A. Napoleão (BraTS, Alfa Crucis, REA)*

## Resumo

A finalidade deste trabalho é apresentar e discutir os primeiros resultados disponíveis sobre a nova LMCN 2019-07a, a partir das observações realizadas nos dois primeiros meses após sua erupção. Esta nova (a primeira nova na Grande Nuvem de Magalhães descoberta por brasileiros) foi encontrada pelo grupo de busca de transientes BraTS<sup>1</sup> em 27 de julho de 2019.

## 1 – Introdução

A Grande Nuvem de Magalhães (GNM), galáxia satélite da Via Láctea, é geralmente considerada um dos mais completos “laboratórios” para o estudo da Astrofísica (e em particular, da Evolução Estelar) de que dispomos. Entre os motivos que justificam essa afirmação estão:

- A GNM se encontra em nossa vizinhança: ela é a terceira galáxia mais próxima de nós, logo após as galáxias anãs de Sagittarius e Canis Major. Além disso, sua distância é precisamente conhecida: 50 kiloparsecs (ou 163 mil anos-luz). Esse valor foi confirmado recentemente, com incerteza de apenas 2% (Pietrzynski et al. 2013).
- A extinção interestelar no “foreground” (ou seja, causada pelo gás e poeira da nossa Via Láctea) na direção da GNM está bem determinada - e é muito baixa. O excesso de cor, em média, é de  $E(B-V) = 0.06$  (Staveley-Smith et al., 2003).
- Ora, uma vez conhecidas a distância e a absorção interestelar, as magnitudes absolutas e as luminosidades intrínsecas de todos os objetos da GNM podem ser calculadas com facilidade pela equação do módulo de distância.
- Com um diâmetro de cerca de 4.3 kpc (ou 14 mil anos-luz) e massa da ordem de  $10^{10}$  massas solares, ela é a quarta maior galáxia de todo o Grupo Local.
- A GNM possui uma imensa diversidade em sua população estelar e de outros objetos: mais de 700 aglomerados abertos, 270 nebulosas planetárias, 60 aglomerados globulares, 60 restos de explosões de supernovas, muitas fontes de raios X e ainda as estrelas mais massivas conhecidas (Westerlund, 1996). As idades desses objetos estão entre poucos milhões de anos (estrelas recém-formadas) até mais de dez bilhões de anos (aglomerados globulares mais antigos).
- Rica em gás e poeira (as “matérias-primas” para gerar novas estrelas) e com baixa metalicidade, a GNM possui uma atividade de formação estelar extremamente dinâmica e vigorosa (cinco vezes mais intensa que a da Via Láctea). Sua taxa de formação de estrelas (SFR) parece ter sido alta até cerca de 12 bilhões de anos (Gyr) atrás. Entre 12 Gyr e 5 Gyr, seguiu-se um longo intervalo quiescente, com SFR baixa. A partir de 5 Gyr, no entanto, a taxa de formação de estrelas dispara novamente, atingindo picos em 2 Gyr, 500 Myr, 100 Myr e 12 Myr (Harris; Zaritsky, 2009).

---

<sup>1</sup> Componentes do grupo BraTS (por ordem alfabética de nomes): Carlos Colesanti, Cristóvão Jacques, Eduardo Pimentel, Israel Mussi, João Ribeiro, Leonardo Amaral, Marcelo Domingues, Paulo Holvorcem, Tasso Napoleão.

Todos esses fatores tornam a GNM uma região ideal para acompanhar os fenômenos e processos astrofísicos envolvidos na formação e evolução das estrelas. Se pudéssemos traçar um paralelo com as ciências biológicas, ela seria algo como um imenso parque zoológico no qual pudéssemos encontrar simultaneamente todas as espécies animais existentes na Terra, em todas as idades e estágios de vida (além dos fósseis de todas as extintas). Não admira que várias das grandes descobertas da astrofísica no Século XX (como por exemplo, a relação período-luminosidade das cefeidas ou a descoberta de nuvens galácticas de hidrogênio neutro) tiveram nela e em sua irmã menor, a Pequena Nuvem de Magalhães (PNM) o cenário para sua descoberta. Ambas se encontram em declinações muito austrais (da ordem de  $-70^\circ$ ), o que evidentemente privilegia os observadores do Hemisfério Sul. Dentre os fenômenos observados na GNM, o interesse principal dos programas de busca de transientes como o BrATS (*Brazilian Transient Search*) está na descoberta de novas.

Sabemos que as novas clássicas são estrelas variáveis cataclísmicas, que se encontram em seu estado quiescente durante a maior parte do tempo, e que sofrem, de modo abrupto e imprevisível, uma erupção intensa na qual seu brilho aumenta tipicamente algo como 5 a 15 magnitudes em questão de horas ou poucos dias. Após a erupção, o brilho decai lentamente, demandando anos ou décadas para voltar ao estado original. Acredita-se hoje que todas as novas sejam parte de sistemas binários, nos quais uma das componentes é uma anã branca; a companheira pode ser uma gigante vermelha ou uma estrela da sequência principal. A matéria do envelope gasoso da companheira (basicamente hidrogênio) flui através de um disco de acreção e se deposita em uma fina camada sobre a superfície da anã. Quando a temperatura ali atinge cerca de  $10^7$  K, iniciam-se as reações termonucleares de fusão do hidrogênio nessa camada da anã branca ou eventualmente no próprio disco de acreção. Por esse mecanismo, a anã branca não é destruída; certa quantidade de massa é lançada ao espaço, formando uma nuvem de ejetos que se dissolvem gradualmente no meio interestelar. Com a dissolução da nuvem, o sistema volta ao estado quiescente original, e continuará acrescentando massa até a erupção seguinte.

Em nossa Galáxia, a taxa teórica global de ocorrência de novas era até há poucos anos estimada como sendo cerca de 35 novas/ano (Shafter, 2002). Modelos mais recentes revisaram esse valor para algo em média da ordem de 50 novas/ano (Shafter, 2017). No entanto, o que conseguimos observar na prática é muito menos que isso, devido principalmente à absorção interestelar causada pelo gás e poeira existentes no disco da Via Láctea, a região na qual nos encontramos. Mesmo nos anos mais recentes (2008-2018), o número de descobertas de novas na Galáxia tem atingido apenas a média de 10 novas/ano (<https://asd.gsfc.nasa.gov/Koji.Mukai/novae/novae.html>). Uma relação completa de todas as 407 novas descobertas na Galáxia entre os anos de 1612 e 2010 pode ser encontrada em [http://www.cbat.eps.harvard.edu/nova\\_list.html](http://www.cbat.eps.harvard.edu/nova_list.html).

A situação em galáxias próximas com massa, luminosidade e morfologia semelhantes às da Via Láctea não é muito diferente: este é o caso de M31 (galáxia de Andrômeda), cuja taxa média teórica é estimada em torno de 65 novas/ano (Darnley et al., 2006). As novas de M31 ocorrem tanto no bojo (mais frequentes) como no disco. Esse valor é de fato compatível com o previsto para a Via Láctea, considerando que as duas galáxias têm tipo morfológico assemelhado (Sb-Sbc) e que ambas têm massas da ordem de  $10^{12} M_\odot$ . No entanto, o número *real* de descobertas em M31 é bem maior do que na Via Láctea: atualmente é possível descobrir algo entre 30 e 40 novas a cada ano em Andrômeda, graças aos programas regulares de busca específica de novas em M31, além de nossa posição externa à galáxia e à baixa extinção interestelar na sua

direção. Todas as descobertas de novas na galáxia de Andrômeda desde o ano de 1909 podem ser vistas no endereço [http://www.mpe.mpg.de/~m31novae/opt/m31/M31\\_table.html](http://www.mpe.mpg.de/~m31novae/opt/m31/M31_table.html).

Já na Grande Nuvem de Magalhães, como seria de se esperar, a situação é diferente, resultante principalmente do fato que sua massa é da ordem de  $10^{10}M_{\odot}$  - ou seja, cem vezes menor que a da Galáxia ou de M31 (além, naturalmente, do tipo morfológico da GNM, que é bem distinto das destas últimas). Estimativas recentes da taxa teórica de ocorrência de novas na GNM estão em torno de 2 a 3 novas/ano. Alguns exemplos:  $2.5 \pm 0.5$  novas/ano (Della Valle et al. 1994);  $2.4 \pm 0.8$  novas/ano (Mróz et al. 2016). Também neste caso, no entanto, o número de novas descobertas anualmente é bem menor que a taxa teórica: no período desde 1926 a 2019, descobriu-se 55 novas na GNM, o que corresponde, em média, a apenas 0.6 novas/ano. Mesmo em anos mais recentes (2008 a 2018), a média de descobertas tem sido pouco superior a uma nova/ano ([http://www.mpe.mpg.de/~m31novae/opt/lmc/LMC\\_table.html](http://www.mpe.mpg.de/~m31novae/opt/lmc/LMC_table.html)). A maior parte delas tem ocorrido na região da barra central. Um fator limitante para as descobertas no caso da GNM é a cobertura relativamente reduzida em comparação aos programas regulares de busca de novas em galáxias boreais como M31 e M33. Isso claramente ocorre pela impossibilidade de acesso dos observadores do Hemisfério Norte à GNM.

Obviamente, a taxa de ocorrência de novas em qualquer galáxia guarda uma forte correlação com a sua massa (ou luminosidade), e provavelmente também com seu tipo morfológico (Matteucci et al. 2003; Della Valle et al. 1994). Pode-se, no entanto, comparar as taxas relativas (ou específicas) de produção de novas em galáxias com diferentes massas e morfologias, normalizando-as segundo um critério denominado LSNR (*Luminosity Specific Nova Rates*). Por esse critério, a GNM passa a ter a *taxa específica mais alta* de ocorrência de novas entre todas as quinze galáxias nas quais foi possível observar esses objetos até o momento (Shafter et al. 2014). É provável que isso esteja relacionado à história recente de formação estelar da GNM, como veremos adiante.

## 2 - Descoberta da nova LMCN 2019-07a

A nova LMCN 2019-07a foi descoberta pelo grupo brasileiro de busca de transientes BraTS (*Brazilian Transient Search*), na madrugada de 27 de julho de 2019. A busca é efetuada pelo grupo com uma câmera Canon 6D acoplada a uma teleobjetiva 200mm f/1.8, instaladas no Observatório SONEAR, na cidade de Oliveira, MG. As imagens são processadas com o software SkySift, desenvolvido por um dos membros do grupo (P.R.Holvorcem<sup>2</sup>) e as potenciais detecções são examinadas visualmente (na própria noite da aquisição e/ou na manhã seguinte) por um dos membros do grupo, em sistema de rodízio. A cobertura do céu é feita diariamente em três perfis: na região do plano galáctico e vizinhanças, onde a probabilidade de ocorrência de novas é maior; em regiões de maior latitude galáctica (probabilidade de novas menor) e finalmente em algumas galáxias externas à Via Láctea (GNM, PNM, M31 e M33).

Em particular, a nova LMCN 2019-07a foi detectada através de uma sequência de seis imagens de busca, sendo a primeira delas feita em 2019 Julho 27.34967 UTC (ou seja, aproximadamente às 05h23m do dia 27/07, no horário local). Localizada na Grande Nuvem de Magalhães (mais precisamente, em Ascensão Reta 05h29m36.66s e Declinação  $-70^{\circ}09'56.6''$ ), sua magnitude era de 12.6 no instante da descoberta. Neste momento, a nova se encontrava aproximadamente à altura de  $30^{\circ}$  sobre o horizonte, em azimute  $160^{\circ}$ . O Sol nasceria às 06h32m, pouco mais de uma hora após a imagem de descoberta. Na Figura 1 vê-se essa imagem no painel do software SkySift.

---

<sup>2</sup> Informações sobre o software SkySift podem ser encontradas em <http://sites.mpc.com.br/holvorcem/>.

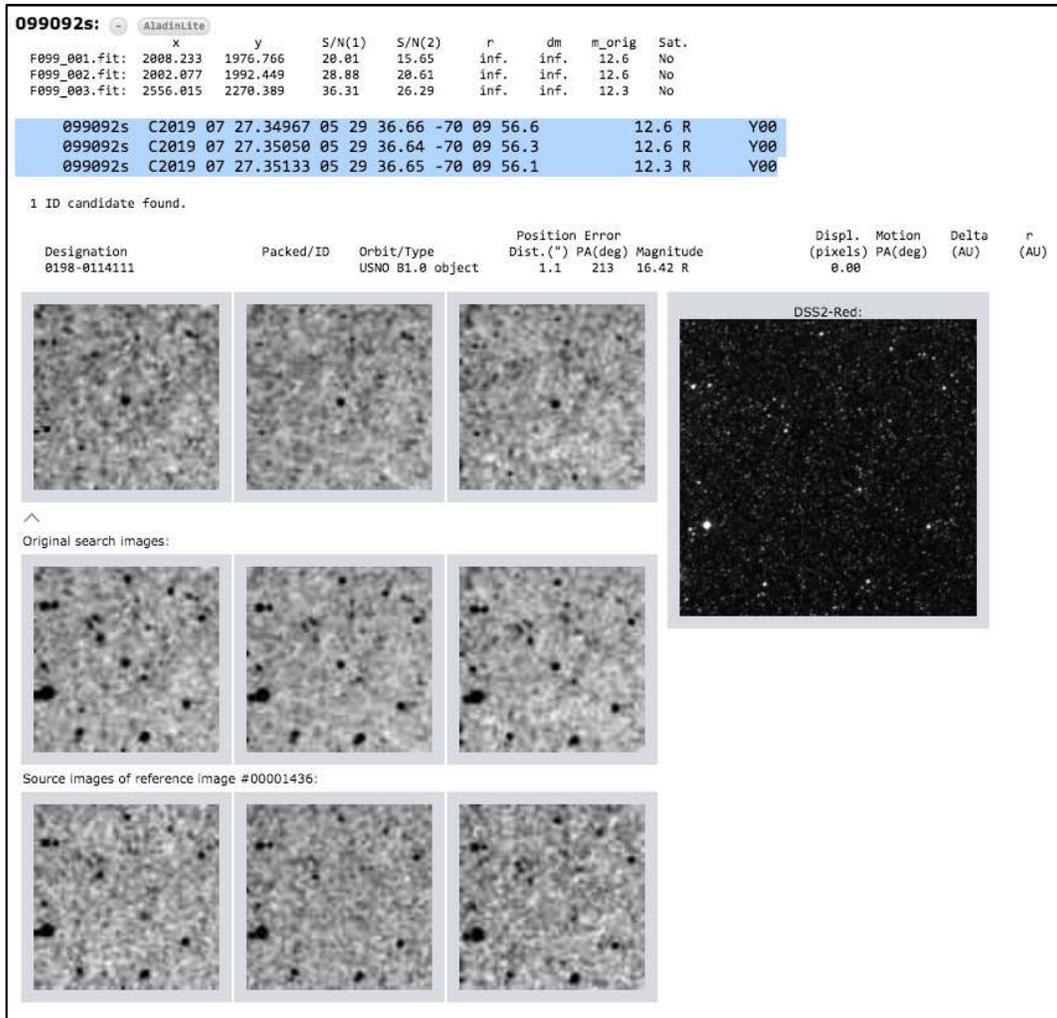


Figura 1: Imagens de descoberta da nova LMCN 2019-07a (software SkySift). As três imagens da linha central correspondem aos horários assinalados em azul. As três imagens da linha inferior são de referência e as três da linha superior são as subtrações respectivas. Uma imagem do DSS2 (à direita) ajuda a confirmar a identificação. Créditos: BraTS.

Ainda na manhã do dia 27/07, as imagens foram verificadas visualmente e imediatamente discutidas entre diversos membros do grupo. Constatou-se que não havia nenhum objeto visível naquela posição em imagens feitas apenas dois dias antes. Tanto a astrometria, como a fotometria do objeto e mais o cálculo de sua magnitude absoluta à distância da GNM indicavam alta probabilidade de se tratar realmente de uma nova. Decidimos então reportá-la de imediato ao CBAT (*Central Bureau for Astronomical Telegrams*, da União Astronômica Internacional). Isso foi feito através da página Web “*Transient Objects Confirmation Page*” (TOCP), que pode ser acessada em <http://www.cbateps.harvard.edu/unconf/tocp.html>. O objeto recebeu assim a denominação provisória<sup>3</sup> de TCP J05293666-7009566.

A comunicação original da descoberta<sup>4</sup> é transcrita a seguir:

<sup>3</sup> A denominação definitiva da nova (LMCN 2019-07a) só foi atribuída um mês após a descoberta.

<sup>4</sup> Além do CBAT, o objeto foi reportado também ao *Transient Name Server* da IAU (<https://wis-tns.weizmann.ac.il/>), no qual recebeu a denominação de AT 2019lvm.

TCP J05293666-7009566

2019 07 27.3496

Discovered by C. Jacques, L. Amaral, C. Colesanti, E. Pimentel, I. Mussi, J. Ribeiro, M. Domingues, P. Holvorcem, T. Napoleao on behalf of the Brazilian Transient Search - BraTS - at SONEAR Observatory, Oliveira, Brazil with six frames with 60 seconds exposure using a telephoto 200mm f/1.8 + Canon 6D camera with magnitude 12.6 under limiting mag = 15.5. Nothing is visible at this location on the previous frame (limit mag = 15.5) taken on 2019 July 25.3618 UT. Possible Nova in LMC.

A posição do objeto na Grande Nuvem de Magalhães pode ser vista na Figura 2. Note-se que ela aparece na região da barra central, área onde as novas são mais frequentes.

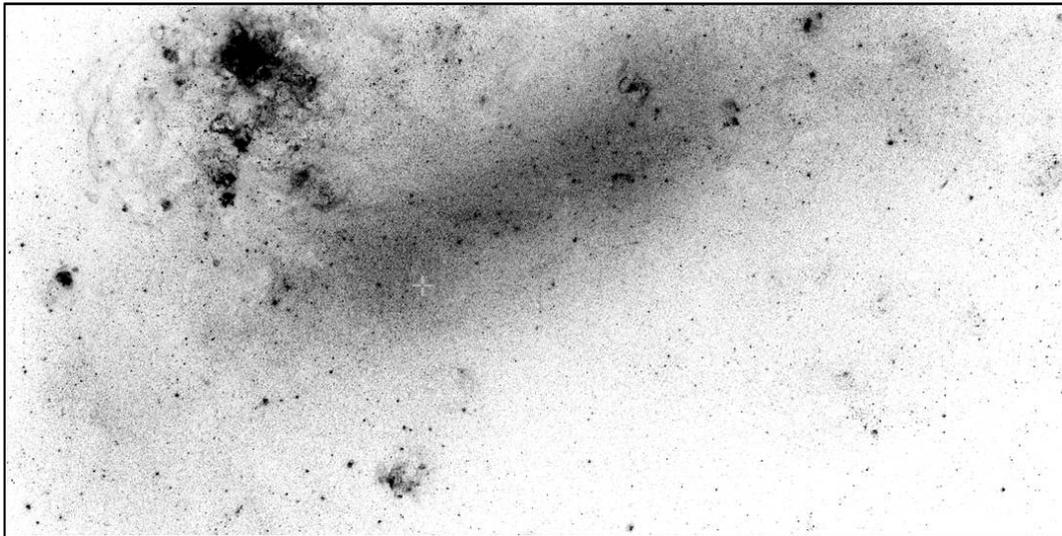


Figura 2: Posição da nova LMCN 2019-07a, na barra central da GNM (imagem adaptada do DSS2).

### 3 – Análises espectroscópicas

Para a caracterização definitiva do objeto TCP J05293666-7009566 como uma nova, no entanto, faltava ainda um espectro. Este, felizmente, seria disponibilizado dois dias após a descoberta (Aydi et al. ATEL 12963). Foram feitos três espectros por essa equipe da *Michigan State University* (MSU), utilizando o espectrógrafo Goodman que está montado no telescópio de 4.1 m do *Southern Astrophysical Research Observatory* (SOAR), em Cerro Pachón, Chile. Dois deles foram feitos em baixa resolução (R 900) e um em média resolução (R 5000). Mais tarde, constatou-se que esses espectros foram realizados um dia antes que a nova atingisse seu brilho máximo. A Figura 3 apresenta um dos espectros de baixa resolução obtidos pela equipe da MSU.

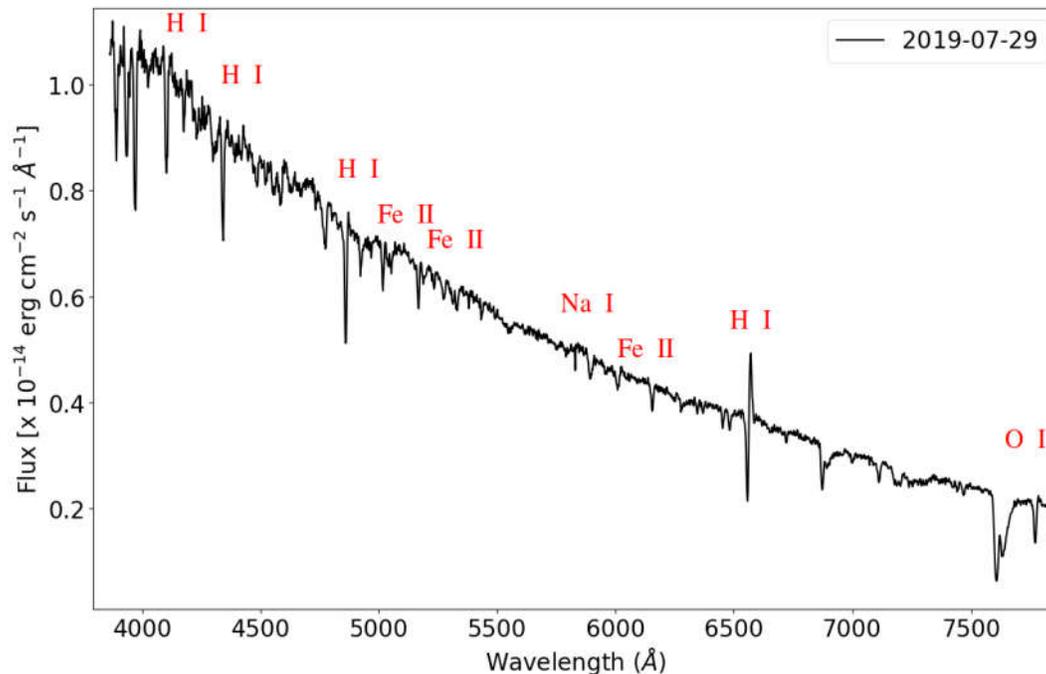


Figura 3: Espectro de TCP J05293666-7009566 obtido no SOAR (Aydi et al., ATEL 12963).

O espectro da Figura 3 revela diversas características que nos permitem afirmar que TCP J05293666-7009566 é de fato uma nova clássica na fase pré-máximo (e também definir o seu tipo). O contínuo é azul; as linhas de Balmer (H-alfa, H-beta, H-gama, etc.) aparecem proeminentes, várias delas com perfis P-Cygni, indicando expansão dos gases gerados na explosão. Notam-se também linhas finas de ferro ionizado, sódio e oxigênio. Segundo a equipe da MSU, a largura das linhas P-Cygni (em absorção + emissão), medida pelo parâmetro FWZI (*full width at zero intensity*, ou largura da linha à intensidade zero) atingia aproximadamente 1250 km/s, o que indica velocidades de expansão moderadamente altas (*mas não extremamente rápidas, considerando a população de novas da GNM*).

As características do espectro de TCP J05293666-7009566 indicam claramente que se trata de uma nova da classe FeII. Lembramos que desde a década de 1990 se sabe que os espectros das novas na fase pós-erupção se dividem em dois grandes grupos: o primeiro são as novas do “tipo FeII”, que (além de fortes linhas de Balmer) apresentam tipicamente linhas de emissão finas de FeII, perfis P-Cygni pronunciados, velocidades de expansão dos gases moderadamente altas e baixo nível de ionização. O outro tipo (novas do “tipo He/N”) apresenta linhas fortes e largas de hélio e nitrogênio, velocidades de expansão muito altas (geralmente acima de 2500 km/s) e seus espectros evoluem mais rapidamente que os das novas de FeII (Williams, 1992). Estudos posteriores mostraram que o espectro das novas do tipo He/N se origina no material ejetado da anã branca, enquanto que os espectros do tipo FeII se formam no grande envelope de gás cuja origem está na componente secundária (Williams, 2012).

As análises de todos os espectros de novas obtidos a partir dos numerosos programas de busca que têm sido efetuados ao longo dos anos na Grande Nuvem de Magalhães, em M31 e na Via Láctea mostraram que, tanto para M31 como para a Galáxia, a proporção entre os dois tipos espectroscópicos é de aproximadamente 80% de novas de FeII contra 20% de novas de He/N. No entanto, para a GNM as estatísticas são bem diferentes: encontra-se 50% de novas do tipo FeII e outros 50% do tipo He/N. De forma consistente, as novas da GNM são também,

em média, mais rápidas do que as observadas em M31 (ou na Via Láctea). Como se explicariam essas discrepâncias? Uma hipótese que nos parece bastante razoável é aventada em Shafter (2013): a causa residiria na diferença entre as populações dominantes na GNM e em M31 e outras galáxias assemelhadas, incluindo a Via Láctea. A maior parte das novas da GNM parece ter origem na sua população estelar intermediária e jovem, com idade média em torno de 1- 3 Gyr, enquanto que a maioria das novas de M31 ocorre na região do bojo, em que as idades estão em torno de 12 Gyr. Modelos de síntese de populações estelares (Yungelson et al., 1997) demonstram que as populações mais jovens tendem a produzir novas em maior número que as mais antigas, principalmente devido às massas mais altas (em média) das anãs brancas formadas em épocas mais recentes e baixas metalicidades. Em anãs brancas com massas maiores, as reações termonucleares de fusão que produzirão a nova poderão se desencadear com uma quantidade de massa acretada (e ejetada) menor, resultando em uma evolução fotométrica mais rápida, uma fração de novas do tipo He/N maior, e uma taxa específica de ocorrência de novas (normalizada pelo fator LSNR) mais alta, equivalente a duas a três vezes a taxa média de galáxias como a nossa Via Láctea ou M31. Dessa forma, as propriedades das novas da GNM e sua alta taxa normalizada de ocorrência seriam resultado de sua história de formação estelar recente, particularmente o pico da SFR ocorrido a partir de 5 Gyr atrás (Mróz et al., 2017).

#### 4 – Análises fotométricas

Como vimos, a nova apresentava magnitude 12.6 no momento em que a imagem de descoberta foi feita (Julho 27.34967 UTC ou, em uma notação mais conveniente para as análises que se seguirão, Data Juliana 2458691.84931). Por mais de três dias seu brilho continuaria aumentando, sendo monitorado por vários observadores usando telescópios na Austrália, África do Sul e América Latina (incluindo o próprio BraTS). A cobertura mais abrangente, no entanto, passou a ser feita pela AAVSO (*American Association of Variable Stars Observers*). Desde a descoberta e até o momento em que este texto é escrito (dois meses depois), os observadores da AAVSO haviam realizado um total de 367 medidas da magnitude da nova, sempre no sistema fotométrico UBV da série Johnson; espera-se que a cobertura continue a ser feita pelo menos por mais alguns meses<sup>5</sup>. Pela consistência e precisão dos dados da AAVSO, todas as análises fotométricas da nova LMCN 2019-07a que faremos a seguir tomarão como base os dados que são disponibilizados publicamente por essa associação, no seu website (<https://www.aavso.org/>) e no software VSTAR (<https://www.aavso.org/vstar>). Agradecemos à AAVSO pela generosidade da sua disponibilização pública.

Vamos iniciar classificando a nova fotometricamente. Os primeiros estudos sobre a evolução de brilho das novas durante suas erupções foram desenvolvidos por McLaughlin (1939, 1945) e Payne-Gaposchkin (1957). Esses autores estabeleceram uma classificação das novas de acordo com a taxa de declínio de seu brilho a partir da data do máximo. Cinco classes foram assim definidas: novas muito rápidas, rápidas, moderadas, lentas e muito lentas. A taxa de declínio de brilho das novas é expressa através de dois parâmetros que são obtidos diretamente da curva de luz:  $t_2$  (tempo necessário para a nova decair duas magnitudes desde o máximo) ou  $t_3$  (tempo para a nova decair três magnitudes).

Para tanto, consideremos a curva de luz na magnitude V Johnson obtida pela AAVSO para os dois meses que se seguiram à descoberta (Figura 4).

---

<sup>5</sup> Note-se que a maior parte das medidas de magnitude da AAVSO foi feita pelo cientista belga Franz-Josef Hamsch, um conhecido expert em estrelas variáveis cataclísmicas e RR Lyrae. O Dr. Hamsch opera remotamente um telescópio robótico de 400mm situado na região do Atacama, Chile.

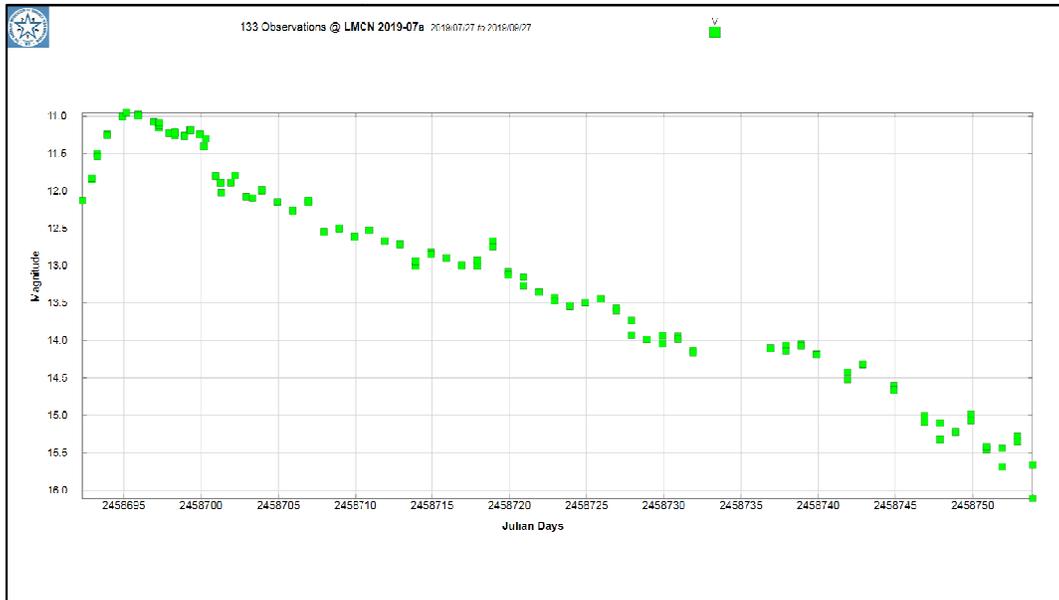


Figura 4: Curva de luz AAVSO da nova LMCN 2019-07a para o período de 27/07/2019 a 27/09/2019. Magnitudes V Johnson. Créditos: AAVSO.

Usando o software VSTAR, determinamos a data do máximo (DJ 2458695.19) e o valor da magnitude V nessa data (10.95). Para o cálculo de  $t_2$ , portanto, basta localizar a data em que a magnitude V atingiu o valor de 12.95: encontra-se pelo VSTAR a Data Juliana 2458715.92.

Dessa forma,  $t_2 = 2458715.92 - 2458695.19 = 20.73$  dias (ou cerca de 21 dias).

Para  $t_3$ , o procedimento é análogo, bastando localizar a data em que a magnitude V foi de 13.95. Pelo VSTAR, encontra-se DJ = 2458729.91.

Resulta que  $t_3 = 2458729.91 - 2458695.19 = 34.73$  dias (ou cerca de 35 dias).

A classificação tradicionalmente mais aceita para a velocidade das novas é a que foi estabelecida em Payne-Gaposchkin (1957). Baseada no parâmetro  $t_2$ , ela lista cinco classes: novas muito rápidas ( $t_2 < 10$  dias), novas rápidas (11-25 dias), novas moderadamente rápidas (26-80 dias), novas lentas (81-150 dias) e muito lentas (151-250 dias). Assim, a nova LMCN 2019-07a se enquadra na classe das novas rápidas (*porém não muito rápidas*). Essa classe, por sinal, é bastante comum na GNM.

Calculemos agora a magnitude absoluta e a luminosidade da nova. Para isso, usaremos uma relação empírica entre as luminosidades das novas clássicas no seu máximo brilho (expressa por sua magnitude absoluta  $M_v$ ) e os parâmetros  $t_2$  ou  $t_3$ , que são obtidos da curva de luz. Proposto originalmente por McLaughlin (1945), este método passou a ser conhecido como "MMRD" ("maximum-magnitude-rate-of-decline"), e se tornou uma ferramenta de grande utilidade para estimar a magnitude absoluta das novas e, a partir daí, sua distância. No seu artigo original, McLaughlin se baseou no parâmetro  $t_3$  e em uma amostra relativamente pequena de novas cujas curvas de luz estavam disponíveis na época; nas décadas seguintes, porém, equações mais precisas para a relação MMRD foram desenvolvidas por diversos pesquisadores, com base em  $t_2$  e  $t_3$ , e amostragens bem mais extensas. Para este trabalho,

calcularemos  $M_v$  de forma comparativa usando as seguintes relações MMRD, disponíveis na literatura:

Relações baseadas em  $t_2$ :

1.  $M_v = -7.92 - 0.81 \arctan [(1.32 - \log t_2)/0.23]$  (Della Valle; Livio, 1995)
2.  $M_v = -11.32 + 2.55 \log t_2$  (Downes; Duerbeck, 2000)
3.  $M_v = -8.02 - 1.23 \arctan [(1.32 - \log t_2)/0.23]$  (Downes; Duerbeck, 2000)
4.  $M_v = -9.60 + 0.28 \log t_2 + 0.70(\log t_2)^2$  (Liller; Shida, 2004)

Relações baseadas em  $t_3$ :

1.  $M_0 = -11.8 + 2.5 \log t_3$  (Schmidt-Kaler, 1957)
2.  $M_v = -11.99 + 2.54 \log t_3$  (Downes; Duerbeck, 2000)

Utilizando os valores de  $t_2$  e  $t_3$  que obtivemos da curva de luz AAVSO, resulta para  $M_v$ :

Relações MMRD baseadas em  $t_2$ :

Equação	Referências / pesquisadores	Valores de $M_v$
1	Della Valle; Livio, 1995	-7.93
2	Downes; Duerbeck, 2000	-7.96
3	Downes; Duerbeck, 2000	-8.03
4	Liller; Shida, 2004	-8.02

Relações MMRD baseadas em  $t_3$ :

Equação	Referências / pesquisadores	Valores de $M_v$
1	Schmidt-Kaler, 1957	-7.95
2	Downes; Duerbeck, 2000	-8.07

Os valores de  $M_v$  obtidos pelo método MMRD podem ainda ser confrontados com outro processo bastante simples: a equação do módulo de distância, viável porque a distância da GNM é conhecida com boa precisão. Se levarmos em conta o valor mais recente para a distância da GNM ( $49.97 \text{ kpc} \pm 2.2\%$ ), dado por Pietrzynski et al. 2013; que o avermelhamento total (foreground + extragaláctico) na direção da nova é de 0.12 (Imara; Blitz, 2007); e que o brilho máximo na nova foi de 10.95 mag, resulta:

$$m_v - M_v = 5 \log d - 5 + A_v$$

$$10.95 - M_v = 5 \log 49970 - 5 + 3.1 \times 0.12$$

$$\mathbf{M_v = - 7.91 \pm 0.05}$$

Esse resultado já leva em conta a incerteza de 2.2% na distância da GNM e é perfeitamente consistente com os obtidos pelas diversas expressões da relação MMRD acima. É também bastante próximo ao valor médio de  $M_v$  para as novas da Grande Nuvem de Magalhães. Em um estudo recente das propriedades fotométricas e espectroscópicas das 43 novas

identificadas na GNM desde 1926 até o fim do ano de 2012, Shafter (2013) calculou, com base nas observações fotométricas confiáveis (disponíveis para 29 novas), os valores individuais de  $M_v$ . O valor *médio* de  $M_v$  para essa amostra de novas analisadas por Shafter foi de 8.1.

Por fim, iremos fazer uma breve avaliação qualitativa da evolução da cor e temperatura da nova durante estes dois meses iniciais. Para isso, vamos escolher o índice de cor (B-V) como padrão. No site da AAVSO, estão disponíveis os dados das magnitudes Johnson B, V e R recolhidos pelos seus observadores para o período. A partir das magnitudes B e V indicadas, podemos construir o gráfico do índice de cor (B-V) em função do tempo, visto na Figura 5. Nele, podemos identificar claramente duas fases da evolução da nova. Na fase pré-máximo (também chamada de *fireball expansion phase*), temos um período de expansão uniforme de um envelope gasoso opaco que envolve a anã branca e a secundária. Esse envelope resfria à medida que se expande. A temperatura dessa pseudo-fotosfera cai durante esta fase, podendo atingir algo entre 5000 K e 10000 K. O índice de cor, em consequência, se torna mais positivo. Reconhecemos esta fase pelo trecho ascendente inicial da curva do índice de cor, logo nos primeiros dias após a descoberta e até o máximo visual. O espectro do SOAR visto na Figura 3 corresponde a esta fase. Já no máximo, o espectro da nova se assemelha ao de uma estrela supergigante do tipo A ou F (Warner, 1989). No início da fase de declínio de brilho (também chamada de *principal spectrum*), o envelope se retrai sob o efeito da gravidade. A temperatura aumenta gradualmente e o índice de cor inverte sua tendência anterior e começa a cair. Essa queda de (B-V) aparece na figura como o trecho descendente pós-máximo, cuja duração não podemos no momento antecipar. Daqui para diante, a continuidade do monitoramento fotométrico e (idealmente) espectroscópico serão indispensáveis para entender melhor a evolução desta nova.

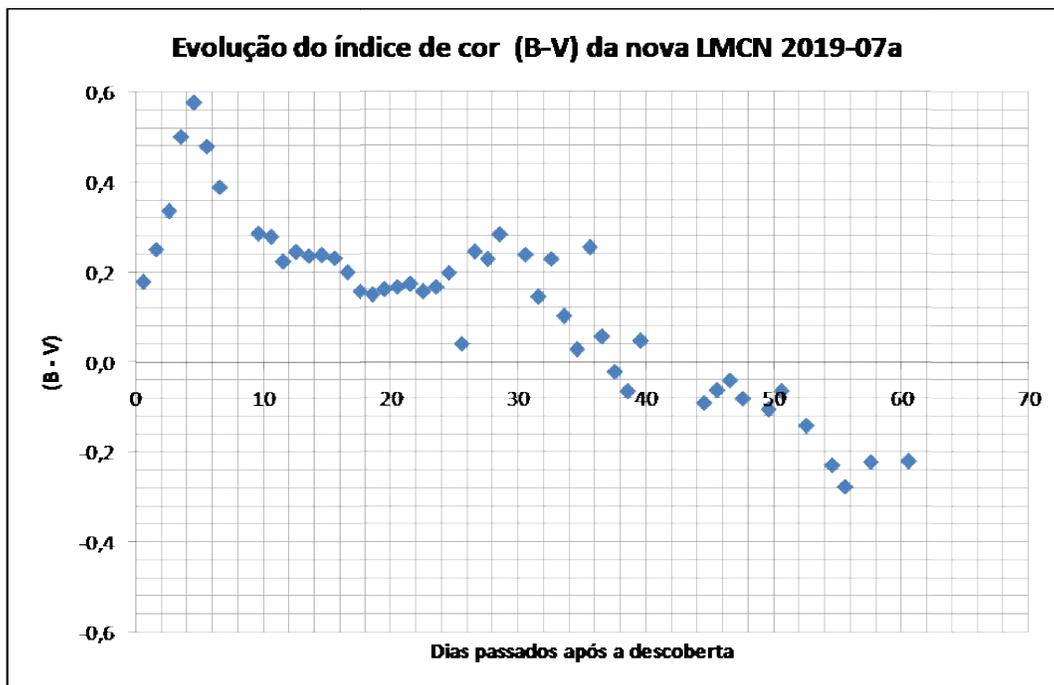


Figura 5: Evolução do índice de cor (B-V) da nova nos dois meses após a erupção.

## 5 - Conclusões:

Como já mencionado, nosso objetivo neste trabalho é apresentar e interpretar os primeiros resultados sobre a nova LMCN 2019-07a, decorrentes das observações realizadas nos sessenta dias posteriores à sua descoberta. Naturalmente, novos dados deverão estar disponíveis nos próximos meses, o que possibilitará análises complementares. Todavia, acreditamos que algumas primeiras conclusões já possam ser deduzidas com segurança neste momento:

- A primeira das imagens de descoberta da LMCN 2019-07a, que mostra a nova com magnitude 12.6, foi feita em DJ 2458691.84931 (27/07/2019 às 08h23m UTC). A imagem anterior da mesma região, com magnitude-limite 15.5, havia sido feita em DJ 2458689.86181 (25/07/2019 às 08:41 UTC). Dados do ASAS-SN Sky Patrol (Figura 6) mostram que na região não existia nada mais brilhante que a magnitude-limite local (aproximadamente 16) em DJ 2458688.94324 (24/07/2019 às 10:38 UTC). Por outro lado, o máximo seria atingido, por dados da AAVSO, por volta de DJ 2458695.19 (30/07/2019, por volta de 16h30m UTC). Isso indica, evidentemente, não apenas que a nova com certeza se encontrava no estágio de ascensão ao máximo quando da sua descoberta (dois dias antes do máximo brilho visual), como também que a explosão provavelmente se deu em algo da ordem de três dias antes de ser descoberta pelo BraTS. Esse perfil de ascensão de brilho desde o estágio de pré-nova é bastante típico de novas clássicas (Warner, 1989).

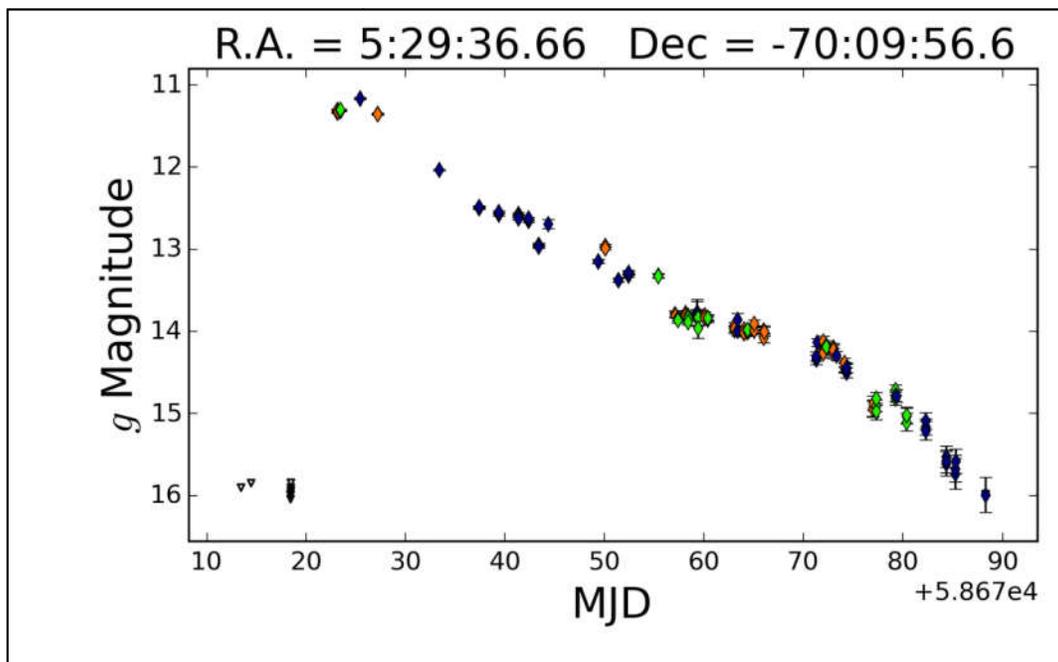


Figura 6: Curva de luz da nova LMCN 2019-07a de acordo com os dados do ASAS-SN Sky Patrol.

- Os espectros obtidos pela equipe da MSU/SOAR são característicos de uma nova da classe Fell na fase “fireball”, imediatamente anterior ao seu brilho máximo visual (que ocorreria pouco mais de um dia após essa obtenção). As velocidades de expansão medidas são compatíveis com essa classe de novas (rápidas, porém não  *muito* rápidas como as novas de He/N).
- A fotometria V da nova LMCN 2019-07a e o uso de diversas expressões da relação MMRD indicam uma magnitude absoluta de aproximadamente -7.9 no brilho máximo, o que nos permite calcular sua luminosidade intrínseca, como se vê abaixo:

$$M_{\odot} - M_{\text{nova}} = 2,5 \log ( L_{\text{nova}} / L_{\odot} )$$

$$4.8 + 7.9 = 2.5 ( L_{\text{nova}} / L_{\odot} )$$

$$( L_{\text{nova}} / L_{\odot} ) = 120\,226$$

Ou seja, a nova apresentava luminosidade equivalente a cerca de 120 mil vezes a luminosidade do Sol, por ocasião do seu máximo brilho.

- A taxa de declínio de brilho  $v$  após o máximo pode ser estimada como  $(2/t_2)$ , como  $(3/t_3)$  ou ainda, quando ambos estão disponíveis, pela média aritmética desses dois parâmetros (Shafter, 2013). Este é o nosso caso, e a taxa resultante desse cálculo é de  $v = 0.09$  magnitudes/dia. A situação pode ser melhor visualizada na Figura 7, que apresenta a relação MMRD de uma amostra de 30 novas descobertas na Grande Nuvem de Magalhães. As novas do tipo He/N (mais energéticas, mais rápidas e luminosas e cujas anãs brancas possuem massas mais altas) são vistas como quadrados na figura. Já as novas do tipo Fell, mais lentas e menos energéticas do que as precedentes, são vistas como círculos. As cruzeiras representam novas cuja classe espectroscópica não foi determinada. O triângulo vermelho representa a nova LMCN 2019-07a, que, como fica evidente na figura, pode ser considerada uma nova típica entre as da classe Fell da Grande Nuvem. A linha tracejada é o melhor ajuste da relação MMRD para as novas dessa amostra (Shafter et al., 2014):

$$M_v = -(1.52 \pm 0.24) \log 100v - 6.27 \pm 0.32$$

Para o caso de nossa nova, esse ajuste fornece  $M_v = 7.7 \pm 0.5$ , perfeitamente compatível com os valores obtidos por outras equações.

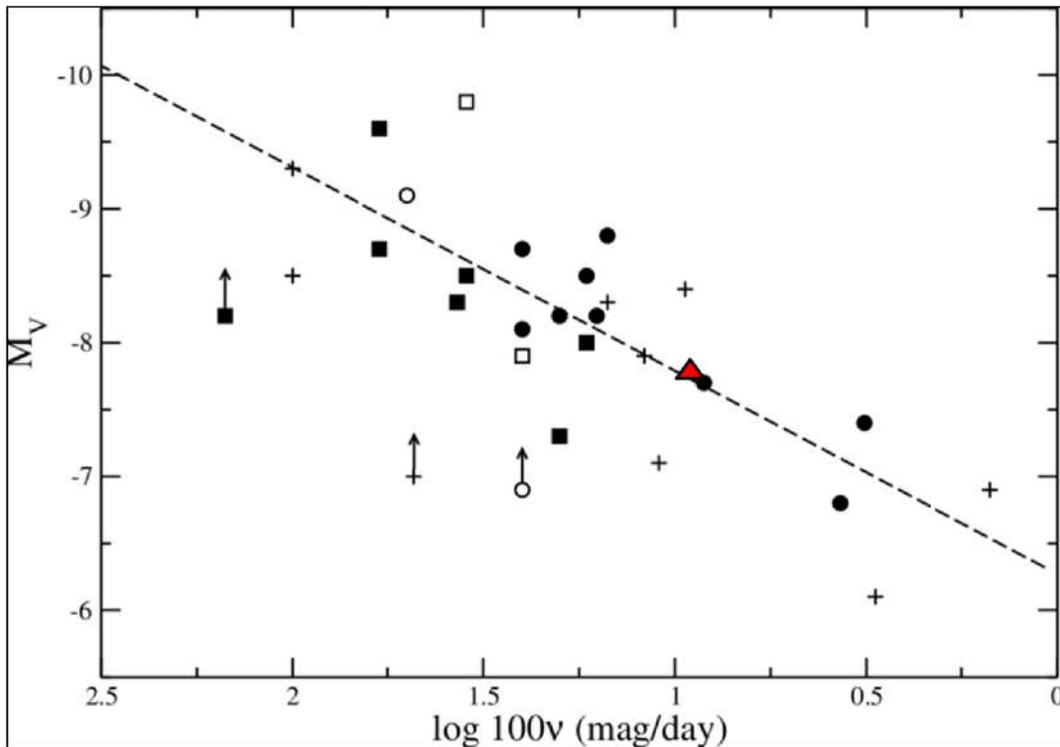


Figura 7 - Relação MMRD para uma amostra de 30 novas da GNM (Créditos do diagrama original: Shafter et al., 2014).

- Por fim, podemos estimar a massa da componente anã branca da nova. Conforme comentamos anteriormente, e de acordo com Shafter (2013) e Mróz et al. (2016), sabemos que as novas mais luminosas e/ou que apresentam  $t_2$  ou  $t_3$  mais curto são também as que possuem anãs brancas de massas maiores (e vice-versa). Ora, como vimos das análises fotométricas e da espectroscopia, a nova LMCN 2019-07a (embora classificada na categoria “rápida” no critério original de Payne-Gaposchkin 1957), evidentemente *não pertence* ao subgrupo mais rápido da população da GNM (ver Figura 7). Talvez fosse mais adequado classificá-la como “moderadamente rápida”. Assim, devemos esperar que sua anã branca não possua massa muito alta (e com certeza bem longe do limite de Schenberg-Chandrasekhar).

Podemos calcular a massa da anã branca com base em uma expressão analítica desenvolvida por Mario Livio, que relaciona a magnitude absoluta B no máximo com a massa da anã, em unidades de massa solar (Livio, 1992):

$$M_B = -8.3 - 10.0 \log (M_{\text{anã}}/M_{\odot})$$

Para esse cálculo, precisaremos do valor de  $M_B$ . Ele pode ser calculado a partir da medida da magnitude aparente B ( $m_B$ ) no máximo, que podemos obter a partir da curva de luz BVR completa publicada pela AAVSO (Figura 8).

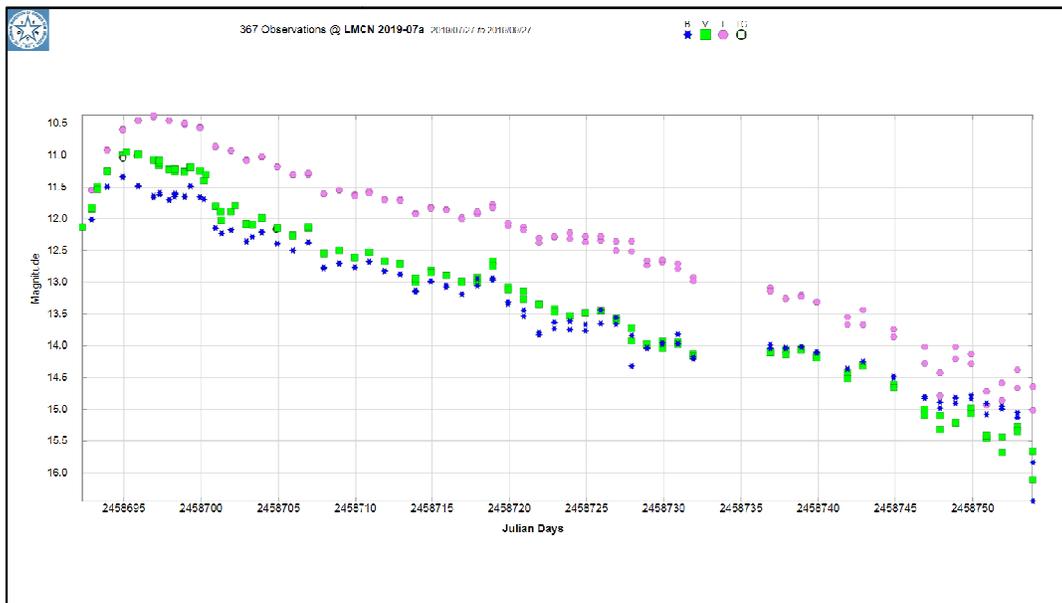


Figura 8 – Curva de luz AAVSO da nova LMCN 2019-07a para o período de 27/07/2019 a 27/09/2019. Magnitudes B, V e R Johnson. Créditos: AAVSO.

Da curva de luz extraímos o valor de  $m_B = 11.33$ . A partir dele, calculamos  $M_B$  a partir da equação do módulo de distância, como se vê abaixo. Note-se que usaremos agora o valor da extinção interestelar em B ( $A_B$ ), equivalente a  $1.324 A_V$ .

$$m_B - M_B = 5 \log d - 5 + A_B$$

$$11.33 - M_B = 5 \log (5 \times 10^4) - 5 + 0.49$$

Resulta  $M_B = -7.65$ . Levando esse valor à equação de Livio (1992), vista acima, temos:

$$(M_{\text{anã}}/M_{\odot}) = 0.86$$

Ou, de forma aproximada, a anã branca possui massa equivalente a 0.9 massas solares. Procuramos checar esse resultado com aqueles obtidos para outras novas que apresentassem  $t_2$ ,  $t_3$  e características espectrais semelhantes à LMCN 2019-07a. Em Hachisu; Kato (2006, 2007), é apresentada uma nova lei de declínio de brilho deduzida pelos autores para as novas clássicas. Embora não haja, entre os exemplos reais fornecidos nesses textos, nenhuma “contrapartida” de nossa nova, interpolações de alguns exemplos não muito diferentes (V1668 Cyg, V1974 Cyg) indicaram que as massas de suas anãs brancas estavam na faixa de 0.95 massas solares – o que nos parece compatível com o valor que obtivemos usando Livio (1992).

## Referências

AAVSO (American Association of Variable Stars Observers). Website. Disponível em: <https://www.aavso.org/>.

Aydi, E. et al., Spectroscopic classification of TCP J05293666-7009566 as a likely classical nova in the LMC, ATEL 12963. Disponível em: <http://www.astronomerstelegram.org/?read=12963>.

Darnley, M. J. et al., Classical novae from the POINT-AGAPE microlensing survey of M31, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 369, 257–271, 2006.

Della Valle, M. et al., The nova rate in galaxies of different Hubble types, *Astronomy and Astrophysics* 287, 403, 1994.

Della Valle, M.; Livio, M., The calibration of novae as distance indicators, *Astrophysical Journal* 452:704, 1995.

Downes, R.; Duerbeck, H., Optical imaging of nova shells and the MMRD relationship, *Astronomical Journal* 120 :2007, 2000.

Hachisu, I.; Kato, M., A universal decline law of classical novae, *Astrophysical Journal Supplement Series*, 167:59, 2006.

Hachisu, I.; Kato, M., A universal decline law of classical novae II. *Astrophysical Journal*, 662:552, 2007.

Harris, J.; Zaritsky, D., The star formation history of the Large Magellanic Cloud, *Astronomical Journal*, 138, 1243–1260, 2009.

Imara, N.; Blitz, L., Extinction in the Large Magellanic Cloud, *Astrophysical Journal* 662:969, 2007.

Liller, W.; Shida, R., Magellanic Clouds novae and the peak magnitude vs rate-of-decline relationship, *ASP conference series*, vol 310, 2004.

Livio, M., Classical novae and the extragalactic distance scale, *Astrophysical Journal*, 393:516, 1992.

- Matteucci, F. et al., 2003, Modelling the nova rate in galaxies, *Astronomy and Astrophysics* 405, 23–30, 2003.
- McLaughlin, D.B., The light curves of novae. *Popular Astronomy*, 47, 410, 1939.
- McLaughlin, D.B., The relation between light-curves and luminosities of novae. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 57, 335, 1945.
- Mróz, P. et al., OGLE Atlas of classical novae II – Magellanic Clouds, *Astrophysical Journal Supplement Series*, 222:9, 2016.
- Payne-Gaposchkin, C. *The galactic novae*. New York: Dover Publications, 1957.
- Pietrzynski, G. et al., An eclipsing binary distance to the Large Magellanic Cloud accurate to 2 per cent, *Nature* vol 495, 76–79, 2013.
- Schmidt-Kaler, Th. Die Lichtkurven-Leuchtkraft-Beziehung Neuer Sterne. *Zeitschrift für Astrophysik*, 41, 182, 1957.
- Shafter, A. W., The Galactic nova rate, in Hernanz, José (eds), *Classical Novae Explosions*, AIP, 2002.
- Shafter, A. W. , Photometric and spectroscopic properties of novae in the Large Magellanic Cloud, *Astronomical Journal* 145:117 (11pp), 2013.
- Shafter, A. W. et al., Extragalactic nova populations, *ASP Conference Series*, Vol. 490, 2014.n
- Shafter, A. W., The Galactic nova rate revisited, *Astrophysical Journal*, 834:196, 2017.
- Staveley-Smith, L., et al., A new look at the large-scale H I structure of the Large Magellanic Cloud, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 339, 87–104, 2003.
- Warner, B. Properties of novae: an overview. In: Bode, M.; Evans, A. (eds), *Classical Novae*, Wiley and Sons, 1989.
- Westerlund, B.E. *The Magellanic Clouds*. Cambridge: Cambridge University Press, 1996.
- Williams, R. The formation of novae spectra, *Astronomical Journal*, Volume 104, Number 2, 1992.
- Williams, R. Origin of the "He/N" and "Fe II" spectral classes of novae, *Astronomical Journal*, Volume 144, # 4, 2012.
- Yungelson, L., et al., On the rate of novae in galaxies of different types, *Astrophysical Journal* 481:127, 1997.